

Rec'd PCT/PTO 11 FEB 2005

URZĄD PATENTOWY RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ #2

10/524449



PCT/PL2002/000072

## ZAŚWIADCZENIE

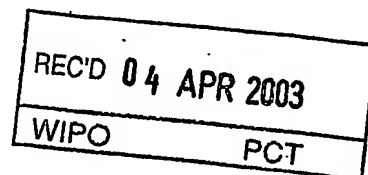


ABB Sp. z o.o.

Warszawa, Polska

złożyła w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej dnia 26 sierpnia 2002 r. podanie o udzielenie patentu na wynalazek pt. „Sposób wykrywania i automatycznej identyfikacji defektów urządzeń technicznych.”

Dołączone do niniejszego zaświadczenia opis wynalazku, zastrzeżenia patentowe i rysunki są wierną kopią dokumentów złożonych przy podaniu w dniu 26 sierpnia 2002 r.

Podanie złożono za numerem P-355697.

Warszawa, dnia 13 marca 2003 r.

z upoważnienia Prezesa

mgr Jowita Mazur  
Specjalista

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

## **Sposób wykrywania i automatycznej identyfikacji defektów urządzeń technicznych**

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykrywania i automatycznej identyfikacji defektów urządzeń technicznych, znajdujący zastosowania do diagnozowania urządzeń technicznych, a zwłaszcza maszyn wirujących.

Podczas dokonywania oceny stanu technicznego wielu urządzeń technicznych, a zwłaszcza podczas wykrywania i identyfikacji defektów wirujących maszyn elektrycznych i ich części, stosunkowo często wykorzystuje się metody oparte na pomiarze sygnałów elektrycznych lub mechanicznych oraz na analizie widm tych zmierzonych sygnałów. Zmienne w czasie sygnały pomiarowe przedstawia się w postaci ich widm częstotliwościowych, a ich wykresy w postaci spektrogramów poddaje się szczegółowej analizie. Spektrogram zatem opisuje rozkłady częstotliwości w danym sygnale. Pik w spektrogramie oznacza obecność odpowiadającej mu częstotliwości w danym sygnale.

Standartowy sposób wykrywania i analizy defektów polega na sprawdzeniu, czy w spektrogramie występują piki odpowiadające wielokrotnościom częstotliwości generowanej przez dany defekt. Dostępne narzędzia ułatwiają to zadanie poprzez wizualizację tego procesu, ale nie zmieniają jego zasady. Niedogodnością takiego sposobu przeprowadzania oceny stanu technicznego jest konieczność dokładnej znajomości konkretnej częstotliwości związanej z danym defektem. Przykładowo, dla łożyska poddanego ocenie, jest to wypadkowa częstości obrotowej wału i geometrii łożyska. W wypadku gdy jedna z tych informacji jest niedostępna, analiza nie może się odbyć, lub obarczona jest dużą niepewnością.

Z polskiego opisu patentowego nr 171 505 znany jest sposób oceny stanu technicznego przekładni zębatej na podstawie analizy sygnału wibroakustycznego, który polega na tym, że na widmach wąskopasmowych przekładni zębatej pracującej z różnymi prędkościami obrotowymi, bada się amplitudy prążków o częstotliwościach odpowiadających iloczynowi częstości obrotowej i liczby zębów koła zębatego, a częstotliwość prążka o najwyższej amplitudzie przyjmuje się za lokalną częstość rezonansową odzwierciedlającą sztywność współpracujących zębów. Następnie przez porównanie tej lokalnej częstości rezonansowej z wartością wzorcową właściwą dla danej przekładni określa się błędy wykonania bądź zużycia.

Z polskiego opisu patentowego nr 148 831 znany jest sposób wykrywania zwarc i niedoborów uzwojeń stojana silnika indukcyjnego, w którym w czasie pracy silnika mierzy się pośrednio pasmowe charakterystyki częstotliwościowe silnika, przez pomiar pasmowych charakterystyk częstotliwościowych stycznej prędkości lub przyspieszenia drgań silnika pod kątem stwierdzenia występowania w charakterystykach częstotliwościowych dominant o określonych częstotliwościach charakterystycznych dla zwarc i niedoborów uzwojeń stojana lub ich harmonicznch. Uzyskany sygnał typu napięciowego jest porównywany z wartością zadaną, a przekroczenie tej zadanej wartości oznacza wystąpienie uszkodzenia.

Z amerykańskiego opisu patentowego nr 5 895 857 znany jest sposób wykrywania uszkodzeń w maszynach mających wirujące lub posuwisto-zwrotne elementy, a zwłaszcza w przekładniach i łożyskach. Sposób ten polega na tym, że ze zmierzonego sygnału reprezentującego widma amplitudy i częstotliwości drgań badanego elementu wirującego, wybiera się wartości szczytowe amplitud dla określonych przedziałów czasowych próbkowania. Wartości te porównuje się z sygnałem prędkości zmierzonym przez czujnik prędkości, który zamontowany jest na wirującym elemencie, przy czym porównywanie tych wartości odbywa się po uprzednim zsynchronizowaniu i uśrednieniu wartości szczytowych amplitud i sygnałów prędkości, a te synchronicznie uśrednione wartości amplitud przetwarza się na częstość własną, aby określić obecność uszkodzeń w badanym elemencie wirującym. W opisie tym przedstawiony jest również sposób przetwarzania

sygnału drgań generowanego przez czujnik drgań, zamocowany na badanym elemencie wirującym, na sygnał przedstawiający częstotliwość własną wytwarzającą wartości szczytowe na widmie.

W przedstawionych sposobach oceny stanu technicznego urządzeń technicznych zmierzone wartości różnych sygnałów, przedstawione na spektrogramach porównuje się ze znanymi, ustalonymi wcześniej wartościami progowymi.

Sposób wykrywania oraz automatycznej identyfikacji defektów urządzeń technicznych według wynalazku, w którym mierzy się za pomocą znanego urządzenia pomiarowego zmienne w czasie sygnały pomiarowe, a wyniki pomiarów w postaci spektrogramów dostarcza się do pamięci komputera, do którego dostarcza się również odpowiednie bazy danych, polega na tym, że w pierwszym etapie działania z co najmniej jednego spektrogramu wybiera się piki o wartościach amplitudy większych od określonej, zadanej wartości progowej amplitudy, z których tworzy się zbiór oznaczonych wartości pików. Następnie dla wszystkich pików z tego zbioru oblicza się stosunek częstotliwości każdego piku względem częstotliwości pozostałych pików, po czym w zależności od wartości uzyskanego ilorazu, zbiór oznaczonych wartości pików dzieli się na dwa podzbiory. W dalszej kolejności, w drugim etapie działania w jednym z podzbiorów wyróżnia się kolejne określone grupy pików, które różnią się między sobą wartościami częstotliwości podstawowej, stanowiącej jeden z czynników iloczynu, stale powtarzający się w jednej z tych grup. Dla pików z każdej określonej grupy pików szuka się obecności wstęg bocznych w drugim podzbiore utworzonym ze zbioru oznaczonych wartości pików i w przypadku stwierdzenia obecności wstęg bocznych, oblicza się częstotliwość podstawową wstęg bocznych. Następnie w etapie trzecim wykrywa się istnienie wady urządzenia technicznego, które następnie identyfikuje się przez porównanie częstotliwości podstawowych oraz częstotliwości podstawowych wstęg bocznych z wartościami częstotliwości, które zgromadzone są w pamięci urządzenia komputerowego, w bazie sygatur danych i w bazie danych technicznych urządzenia technicznego. Wyniki tak przeprowadzonej analizy spektrogramu lub spektrogramów,

przedstawia się za pomocą urządzenia do wizualizacji wyników, sprzężonego z urządzeniem komputerowym.

Korzystnie w pierwszym etapie działania zbiór oznaczonych wartości pików dzieli się na dwa podzbiory pików, przy czym jeden podzbiór składa się z takich wartości pików, dla których stosunek ich wartości częstotliwości do wartości częstotliwości wszystkich pozostałych pików wyraża się ilorazem liczb całkowitych mniejszych od 10, zaś drugi podzbiór pików składa się ze wszystkich pozostałych pików.

Korzystnie w drugim etapie działania obecności wstęg bocznych w drugim podzbiory utworzonym ze zbioru oznaczonych wartości pików szuka się dla dowolnych par pików, poprzez obliczenie stosunków różnicy wartości częstotliwości jednego piku z danej pary pików i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików przez różnicę wartości częstotliwości drugiego piku z danej pary i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików, po czym w zależności od wartości uzyskanego ilorazu tworzy się nowy podzbiór w drugim podzbiory, z którego wydziela się następnie kolejne grupy pików, różniące się między sobą wartościami częstotliwości podstawowej wstęg bocznych, stanowiącej jeden z czynników iloczynu, stale powtarzający się w jednej z tych grup.

Korzystnie nowy podzbiór pików utworzony z par pików w drugim podzbiory składa się z takich par pików, dla których obliczone stosunki różnicy wartości częstotliwości jednego piku z danej pary pików i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików przez różnicę wartości częstotliwości drugiego piku z danej pary i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików, wyrażone są jako ilorazy liczb całkowitych o wartości bezwzględnej mniejszej od 10.

Zaletą sposobu według wynalazku jest możliwość wykrywania i identyfikacji obecności defektu, w przypadkach kiedy dokładne częstotliwości defektów konkretnych urządzeń technicznych nie są znane.

W sposobie według wynalazku bada się relacje między wszystkimi pikami i wyszukuje się częstotliwości, które są całkowitymi wielokrotnościami pewnej,

początkowo niesprecyzowanej częstotliwości oraz ich wstęgami bocznymi. Oznaczenie częstotliwości podstawowej oraz częstotliwości podstawowych wstęg bocznych, stanowi informację wystarczającą do porównania ilościowego z częstotliwościami związanymi z danym defektem i/lub jakościowego z charakterystyczną sygnaturą danego defektu.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony w przykładzie wykonania przy pomocy rysunku, na którym fig. 1, 2, 3, 4, przedstawiają przykładowe spektrogramy badanego urządzenia, na których zaznaczone są kolejne kroki realizacji wynalazku, a fig. 5 - przedstawia przykładowe urządzenie, służące do realizacji sposobu według wynalazku.

Sposób według wynalazku może być zrealizowany następująco.

1. Na spektrogramie /fig.1/, dostarczonym do urządzenia komputerowego, przedstawiającym wartości amplitudy w funkcji częstotliwości danego sygnału badanego urządzenia technicznego, zaznacza się wartość progową amplitudy stanowiącą wartość mediany dla tego wykresu pomnożoną przez liczbę 2,5. Wartość progowa przedstawiona jest na spektrogramie w postaci linii ciągłej.

2. Wszystkie kolejne piki spektrogramu porównuje się z wartością progową amplitudy i z pików, dla których ich amplitudy są większe od wartości progowej, tworzy się zbiór oznaczonych pików  $A_1 \dots A_n$ , przy czym każdy z pików tego zbioru charakteryzuje się inną wartością częstotliwości  $f_1 \dots f_n$  /fig.2/.

3. Ze zbioru oznaczonych pików  $A_1 \dots A_n$  wybiera się kolejno piki i dla tych pików oblicza się stosunek wartości częstotliwości tych pików podzielony przez wartości częstotliwości wszystkich pozostałych pików.

4. Z par pików, dla których obliczone stosunki są wyrażone jako ilorazy niewielkich liczb całkowitych /mniejszych od 10/ tworzy się podzbiór  $\{A\}$  zbioru  $A_1 \dots A_n$ , a z pozostałych pików tworzy się podzbiór pików  $\{Z\}$ , przykładowo na fig. 3 są to piki  $A_6, A_9, A_{15}, A_{18}$  z podzbioru  $\{A\}$ , dla których stosunki częstotliwości pików  $f_{15}/f_6 = 3/1, f_{18}/f_9 = 2/1, f_{15}/f_9 = 3/2$  oraz  $f_7/f_4$  z podzbioru  $\{Z\}$  o stosunku 217/100.

5. Z podzbioru  $\{A\}$  wydziela się następnie kolejne grupy pików  $B_1 \dots B_n, C_1 \dots C_n, D_1 \dots D_n$  itp., które różnią się między sobą wartościami częstotliwości stanowiącej jeden z czynników iloczynu, który powtarza się w danej grupie  $B_1 \dots B_n$

lub  $C_1...C_n$  albo  $D_1...D_n$ , drugim czynnikiem iloczynu jest dowolna liczba całkowita. Powtarzający się czynnik iloczynu stanowi częstotliwość podstawową  $\omega_b$ ,  $\omega_c$  lub  $\omega_d$  danej grupy pików. Piki  $A_6$ ,  $A_9$ ,  $A_{15}$ ,  $A_{18}$  tworzą zbiór  $B_1...B_4$  o częstotliwości podstawowej  $\omega_b = 4,95$ , /fig.3/.

6. Następnie dla wszystkich pików z grupy  $B_1...B_n$  szuka się obecności wstęg bocznych. W tym celu przeprowadza się dalszą analizę spektrogramów polegającą na tym, że:

a/ z podzbioru pików  $\{Z\}$  wybiera się wszystkie pary pików o częstotliwościach  $\{f_{z_j}, f_{z_k}\}$  i dla każdej pary pików oblicza się stosunek różnicy wartości częstotliwości pików  $f_{z_j}$  i takiej wartości częstotliwości pików z grupy  $B_1...B_n$ , która najbliższej usytuowana jest względem pików o wartości  $f_{z_j}$ , podzielonej przez różnicę wartości częstotliwości pików  $f_{z_k}$  i takiej wartości częstotliwości pików z grupy  $B_1...B_n$ , która najbliższej usytuowana jest względem pików o wartości  $f_{z_k}$ .

b/ z par pików, dla których obliczone stosunki są wyrażone jako ilorazy niewielkich liczb całkowitych /o wartości bezwzględnej mniejszej od 10/ tworzy się podzbiór  $\{ZZ\}$  zbioru  $\{Z\}$ , przykładowo na fig. 4, stosunek odległości  $A_4 - B_1$  do odległości  $A_5 - B_1$  wynosi 2:1, a stosunek odległości  $A_{10} - B_2$  do odległości  $A_5 - B_1$  wynosi -1:1,

c/ Jeśli w podpunkcie b podzbiór  $\{ZZ\}$  jest zbiorem pustym dla pików z grup  $B_1...B_n$ , oraz z grup  $C_1...C_n$ ,  $D_1...D_n$  itp. to stwierdza się brak obecności wstęg bocznych i wykonuje się czynności przedstawione w punkcie 7, w przeciwnym przypadku wykonuje się czynności jak. w podpunkcie d.

d/ Z podzbioru  $\{ZZ\}$  wydziela się następnie kolejne grupy pików  $b_1...b_n$ ,  $c_1...c_n$ ,  $d_1...d_n$  itp., które różnią się między sobą wartościami częstotliwości obrotowych, stanowiącej jeden z czynników iloczynu, który powtarza się w danym podzbiorze  $b_1...b_n$  lub  $c_1...c_n$  albo  $d_1...d_n$ , drugim czynnikiem iloczynu jest dowolna liczba całkowita. Powtarzający się czynnik iloczynu stanowi częstotliwość podstawową wstęg bocznych  $\omega_{b1}$ ,  $\omega_{c1}$  lub  $\omega_{d1}$  danej grupy pików, przykładowo piki  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  są wstęgami bocznymi pików  $B_1$ , piki  $b_4$ ,  $b_5$  – pików  $B_2$ , piki  $b_6$ ,  $b_7$  – pików  $B_3$ , a pik  $b_8$  - pików  $B_4$  /fig.4/.

e/ czynności przedstawione w podpunktach a-d powtarza się dla grup pików  $C_1...C_n$ ,  $D_1...D_n$ , itp. opisanych w punkcie 5.

7. Wydzielone częstotliwości podstawowe  $\omega_b$ ,  $\omega_c$  lub  $\omega_d$  oraz częstotliwości podstawowe wstęp bocznych  $\omega_{b1}$ ,  $\omega_{c1}$  lub  $\omega_{d1}$  danej grupy pików porównuje się z wartościami częstotliwości, które zgromadzone są w bazie sygnatur danych BSD, jako częstotliwości znane dla różnego rodzaju uszkodzeń i w zależności od rodzaju urządzenia technicznego, którego dane techniczne zgromadzone są w bazie danych technicznych BDT – wykrywa się i rozpoznaje rodzaj defektu danego urządzenia technicznego. Następnie wyniki tak przeprowadzonej analizy spektrogramu lub spektrogramów, przedstawia się za pomocą urządzenia do wizualizacji wyników, sprzężonego z urządzeniem komputerowym.

Przykładowo z faktu istnienia wyraźnych pików w widmie można wnioskować o istnieniu defektu łożyska. Z faktu, że częstotliwość podstawowa  $\omega_b$  jest w przybliżeniu równa 5X częstotliwość obrotowa urządzenia oraz z faktu istnienia wstęp bocznych, można wnioskować, że defekt związany jest z bieżnią wewnętrzną łożyska. W przypadku defektu bieżni zewnętrznej, częstotliwość podstawowa byłaby na ogół niższa i nie istniałby wstęp boczne. Podobnie można wyeliminować inne defekty i z dużym prawdopodobieństwem można określić rodzaj defektu, przy czym podczas przeprowadzania analizy według przedstawionego sposobu nie jest konieczna precyzyjna znajomość częstotliwości związanych z defektem łożyska.

Sposób według wynalazku jest realizowany w urządzenie do wykrywania i automatycznej identyfikacji defektów urządzeń technicznych.

Urządzenie to stanowi procesor PR, zawierający pamięć PK, w której można wyróżnić moduł funkcjonalny MF oraz moduł identyfikacyjny MI. Moduł funkcjonalny MF składa się z rejestru spektrogramów RS, zespołu wyboru i rejestru pików ZP oraz zespołu klasyfikacji grup ZG. Moduł funkcjonalny MF poprzez rejestr spektrogramów RS połączony jest wejściem WE procesora PR, do którego to wejścia przyłączone jest urządzenie pomiarowe UP, w przypadku dokonywania pomiarów on-line. Do rejestru spektrogramów RS, poprzez wejście WE może być przyłączony dowolny nośnik informacji, zawierający dane pomiarowe. Wyjście modułu funkcjonalnego MF połączone jest z modulem identyfikacyjnym MI, do którego przyłączona jest baza danych technicznych charakteryzujących dane urządzenie badane BDT oraz baza danych sygnatur



defektów BDS. Wyjście modułu identyfikacyjnego MI stanowi jednocześnie wyjście WY procesora PR i połączone jest z urządzeniem do wizualizacji raportu końcowego UK, którym może być wyświetlacz na ekranie komputera lub drukarka.

ABB Sp. z o. o.

Ul. Bitwy Warszawskiej 1920r, nr 18

02-366 Warszawa

P E Ł N O M O C N I K

Rzecznik Patentowy

  
mgr inż. Krystyna Chochorowska-Winiarska

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wykrywania oraz automatycznej identyfikacji defektów urządzeń technicznych, w którym mierzy się za pomocą znanego urządzenia pomiarowego zmienne w czasie sygnały pomiarowe, a wyniki pomiarów w postaci spektrogramów dostarcza się do pamięci komputera, do którego dostarcza się również odpowiednie bazy danych, **znamienny tym**, że w pierwszym etapie działania z co najmniej jednego spektrogramu wybiera się piki o wartościach amplitudy większych od określonej, zadanej wartości progowej amplitudy, z których tworzy się zbiór oznaczonych wartości pików, następnie dla wszystkich pików z tego zbioru oblicza się stosunek częstotliwości każdego piku względem częstotliwości pozostałych pików, po czym w zależności od wartości uzyskanego ilorazu, zbiór oznaczonych wartości pików dzieli się na dwa podzbiory, a następnie w etapie drugim w jednym z podzbiorów wyróżnia się kolejne określone grupy pików, które różnią się między sobą wartościami częstotliwości podstawowej, stanowiącej jeden z czynników iloczynu, stale powtarzający się w jednej z tych grup, po czym dla pików z każdej określonej grupy pików szuka się obecności wstęg bocznych w drugim podzbiorze utworzonym ze zbioru oznaczonych wartości pików i w przypadku stwierdzenia obecności wstęg bocznych, oblicza się częstotliwość podstawową wstęg bocznych, po czym w etapie trzecim wykrywa się istnienie wady urządzenia technicznego, które następnie identyfikuje się przez porównanie częstotliwości podstawowych oraz częstotliwości podstawowych wstęg bocznych z wartościami częstotliwości, które zgromadzone są w pamięci urządzenia

komputerowego, w bazie sygnatur danych i w bazie danych technicznych urządzenia technicznego, a następnie wyniki tak przeprowadzonej analizy spektrogramu lub spektrogramów, przedstawia się za pomocą urządzenia do wizualizacji wyników, sprzężonego z urządzeniem komputerowym.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w pierwszym etapie działania zbiór oznaczonych wartości pików dzieli się na dwa podzbiory pików, przy czym jeden podzbiór składa się z takich wartości pików, dla których stosunek ich wartości częstotliwości do wartości częstotliwości wszystkich pozostałych pików wyraża się ilorazem liczb całkowitych mniejszych od 10, zaś drugi podzbiór pików składa się ze wszystkich pozostałych pików.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drugim etapie działania obecności wstęp bocznych w drugim podzbiorze utworzonym ze zbioru oznaczonych wartości pików szuka się dla dowolnych par pików, poprzez obliczenie stosunków różnicy wartości częstotliwości jednego piku z danej pary pików i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików przez różnicę wartości częstotliwości drugiego piku z danej pary i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików, po czym w zależności od wartości uzyskanego ilorazu tworzy się nowy podzbiór w drugim podzbiorze, z którego wydziela się następnie kolejne grupy pików, różniące się między sobą wartościami częstotliwości podstawowej wstęp bocznych, stanowiącej jeden z czynników iloczynu, stale powtarzający się w jednej z tych grup.
4. Sposób według zastrz.3, **znamienny tym**, że nowy podzbiór pików utworzony z par pików w drugim podzbiorze składa się z takich par pików, dla których obliczone stosunki różnicy wartości częstotliwości jednego piku z danej pary pików i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików przez różnicę wartości częstotliwości drugiego piku z danej pary i wartości częstotliwości najbliższego piku z określonej grupy pików, wyrażone są jako ilorazy liczb całkowitych o wartości bezwzględnej mniejszej od 10.

P E Ł N O M O C N I K

A B B Sp. z o.o.  
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 18  
02-366 Warszawa  
Tel. 658-10-20 Fax 822-73-46

Rzecznik Patentowy  
  
mgr inż. Krystyna Chochorowska-Winiarska

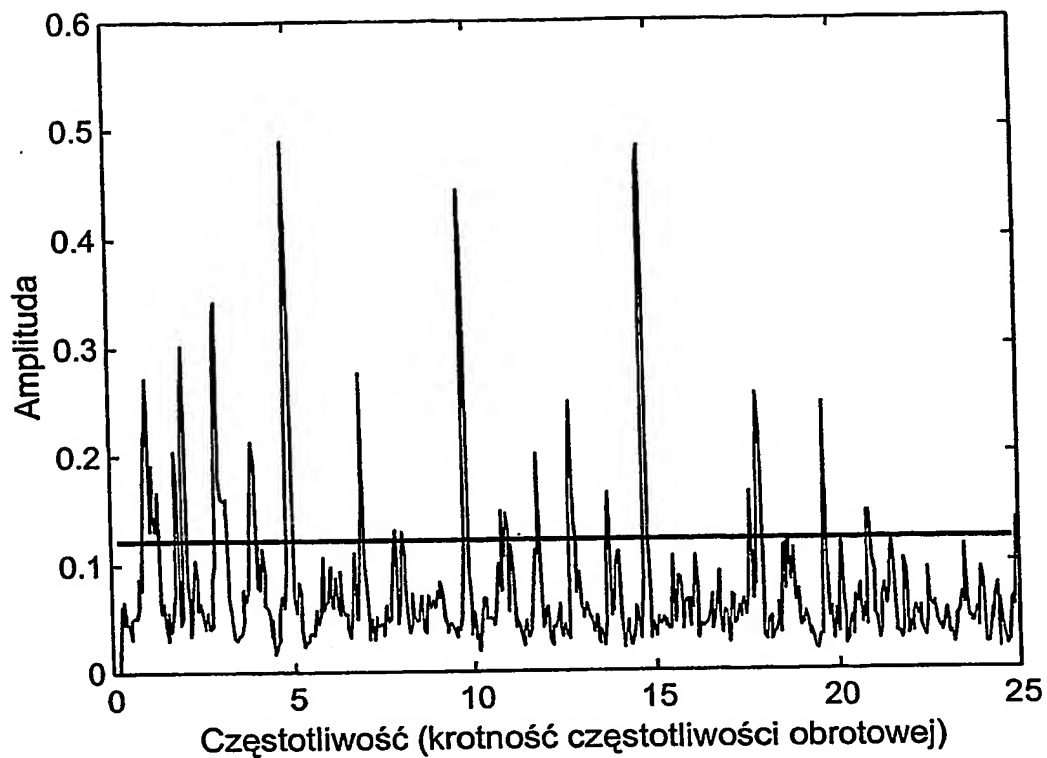


Fig. 1

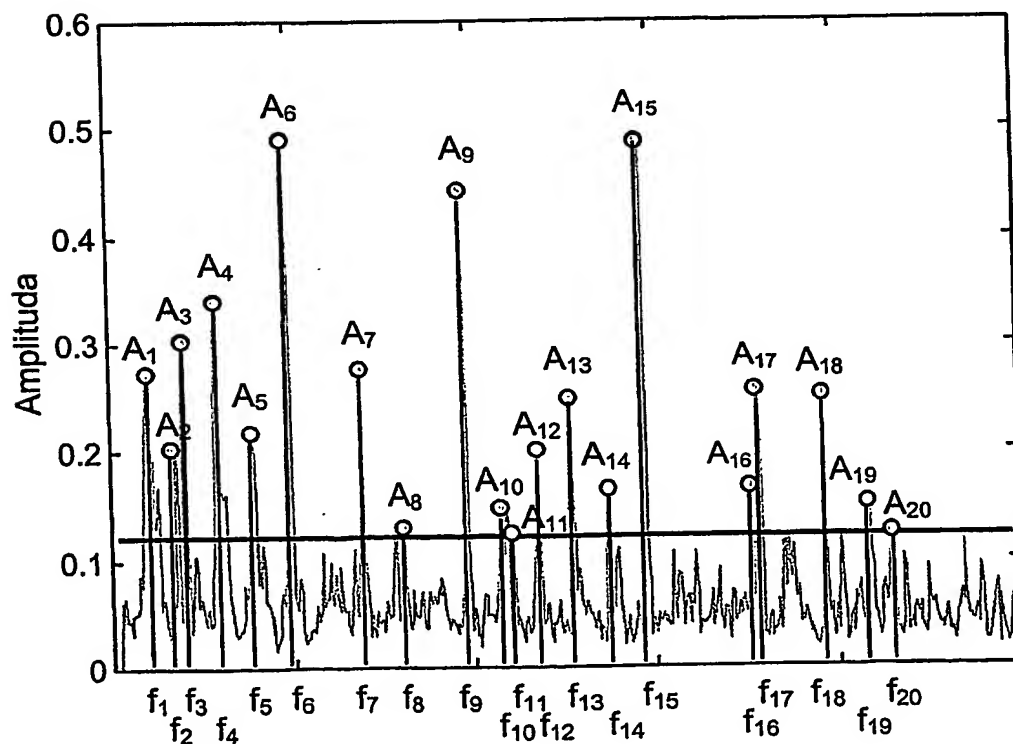


Fig. 2

PEŁNOMOCNIK

ABB Sp. z o.o.  
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 18  
02-366 Warszawa  
Tel. 658-10-20 Fax 822-73-46

Rzecznik Patentowy  
*[Signature]*  
mgr inż. Krystyna Chochorowska-Winiarska

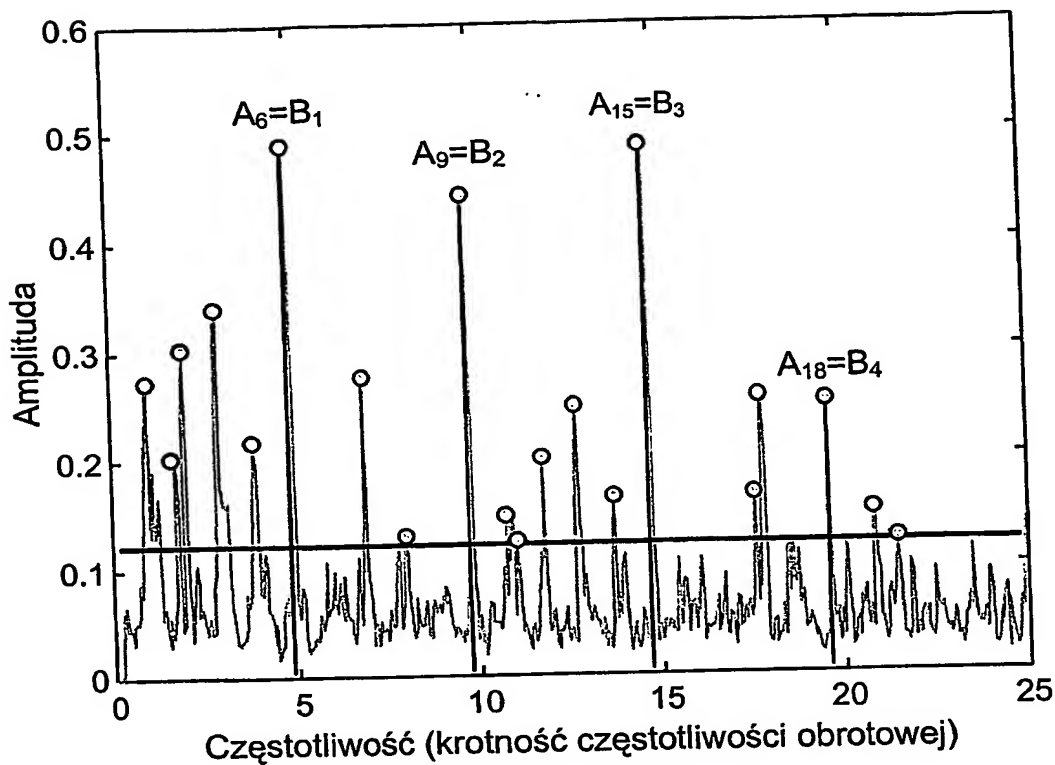


Fig. 3

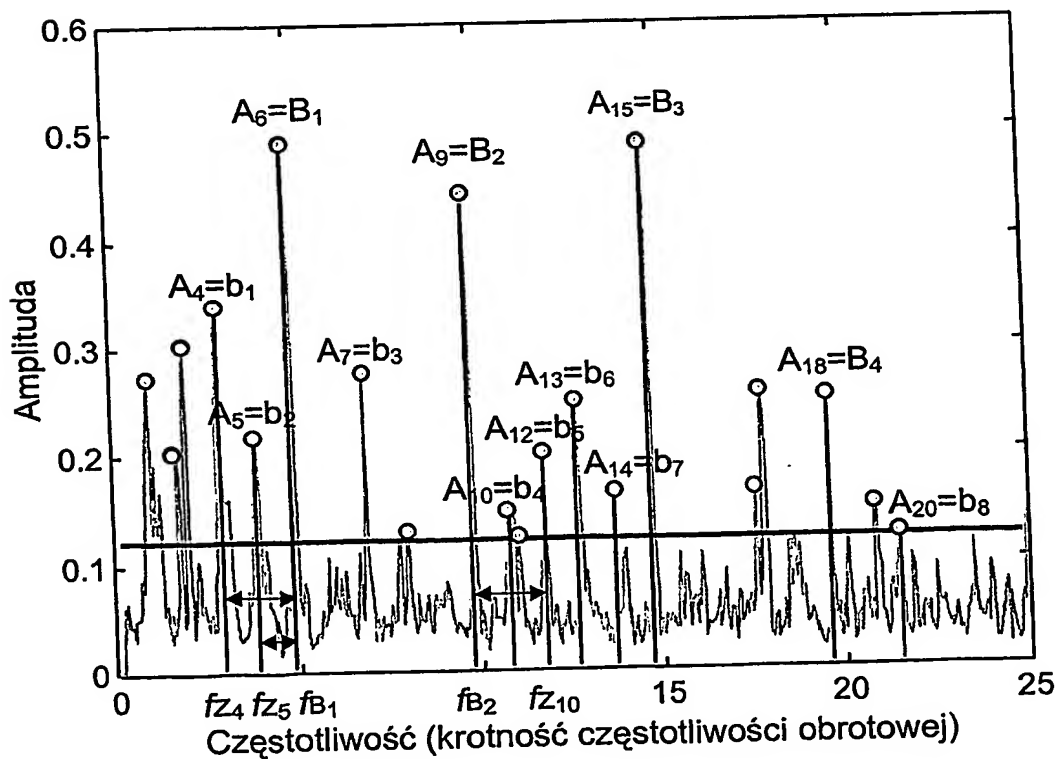


Fig. 4

7

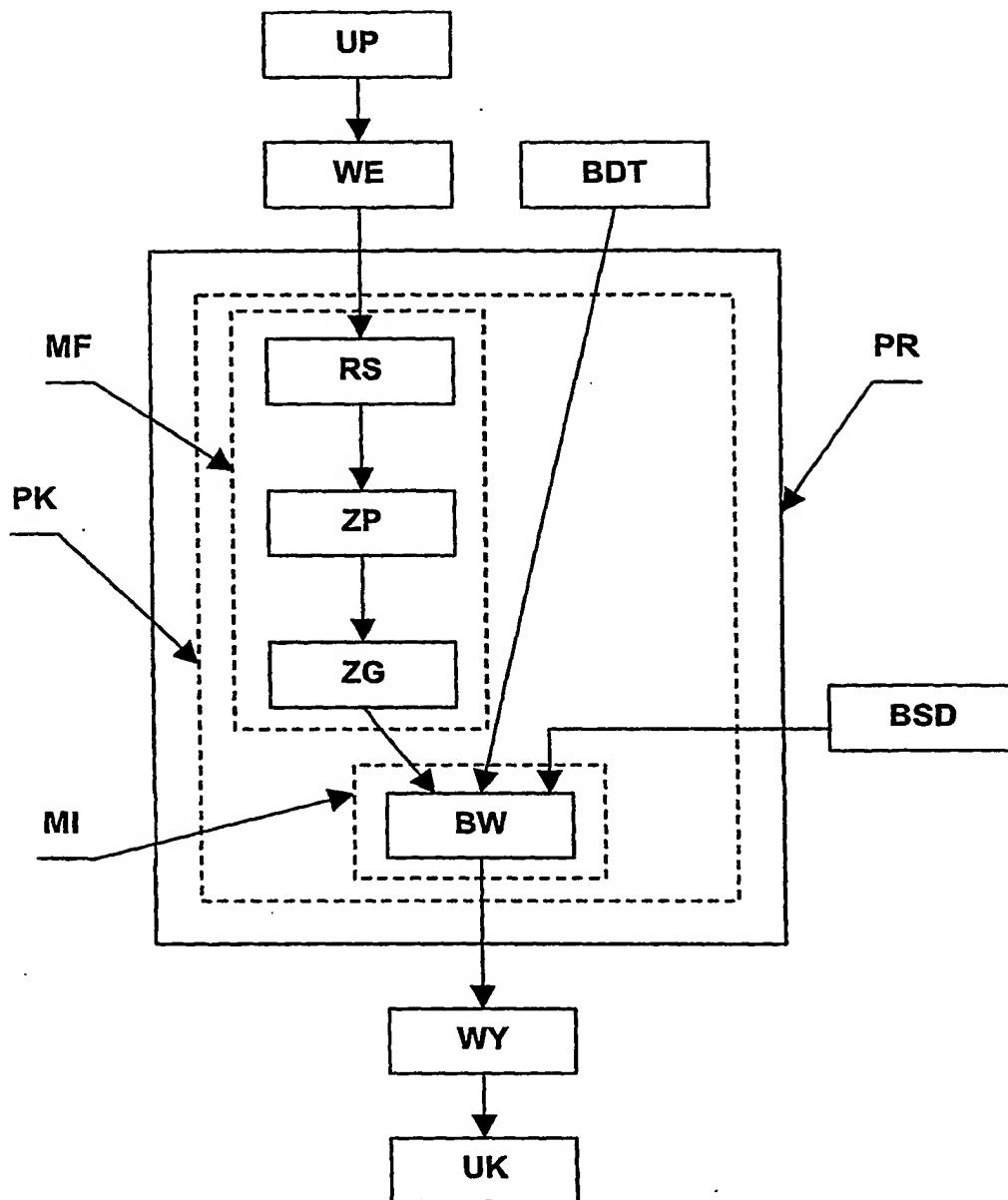


Fig. 5